



Photoelectron Current Measurement on a Nano-satellite in Low Earth Orbit

著者	Ewang Essien Sampson
year	2017-12-27
その他のタイトル	地球低軌道上での超小型衛星における光電子電流計測
学位授与番号	17104甲工第447号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00006564

氏 名	Essien Sampson EWANG (ナイジェリア)
学 位 の 種 類	博 士(工学)
学 位 記 番 号	工博甲第447号
学位授与の日付	平成29年12月27日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	Photoelectron Current Measurement on a Nano-satellite in Low Earth Orbit (地球低軌道上での超小型衛星における光電子電流計測)
論文審査委員	主 査 准教授 豊田和弘 教授 匹田政幸 " 大村一郎 " 趙 孟佑

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

Photoelectron current is a result of photoelectrons emission from materials irradiated by sunlight and it is one of the major sources contributing to spacecraft charging. For a spacecraft operating in sunlight, one part will always be exposed to the sun while other parts will be in shadow. This results in surface charging due to photoemission phenomenon. This imbalance between parts exposed to sunlight and parts in shadow may lead to discharge through delicate electrical components, which could be fatal to the whole spacecraft. To minimize discharge and improve protection measures, on-orbit measurements of the photoelectron emission current is necessary. This is to determine photoelectron current density of various spacecraft materials irradiated by sunlight. This current is functions of a material and it is important material property for spacecraft charging study for Multi-Utility Spacecraft Charging Analysis Tool (MUSCAT). To predict the photoelectron current density in orbit, photoelectron current at AM0 solar intensity for the material is significant. The experiment described in this dissertation is the first time actual measurements at AM0 are carried out in space. This study considers on-orbit measurements of photoelectron current from three types of samples: gold (Au), Kapton®, and black Kapton®. The samples were mounted on-board the nanosatellite, HORYU-IV, a technology demonstration satellite developed by a semi-professional team from Kyushu Institute of Technology (Kyutech).

Chapter 1 of this dissertation, reviewed about general overview and research problem and the motivation on developing and implementing photoelectron current measurement in space. The authors identified charging effects in which these can give rise to improper conclusions about the space environment. The chapter also includes the objectives and the organization of the thesis.

Chapter 2 presented the literature review on the photoelectron current measurement circuit. On-orbit photoelectron current density at AM0 for Gold, Kapton®, and black Kapton® were estimated from photoelectron current and photoelectron yield of these samples irradiated by UV light. This was based on the ground-based testing using prototype current-voltage amplifier circuit. The chapter also includes reviewed based on the existing studies on photoelectron current measurements for space materials.

In Chapter 3, the author presented descriptions about the materials, test facilities and its arrangement in carrying out the experiment in this research. These apparatus helped in effective implementation of PEC mission

on HORYU IV satellite. And all experimental testing were performed at the Laboratory of Spacecraft Environment Interaction Engineering (LaSEINE) in Kyushu Institute of Technology, Japan.

Chapter 4 addresses the various tests implemented on the ground in verifying the design objectives. The author identified the tests to include: the atmosphere test for PEC circuit board. The photoelectron current measurement in LEO chamber with analysis of each output current from the three samples, under four conditions at the range of orbit data. This leads to the calibration of light intensity with grid effect from the measured PEC data. The chapter also addresses other types of test; integration test with Big Apple subsystem. The test was performed under UV only and plasma and UV conditions. The integration with structure subsystem. Finally, End-to-End test.

In Chapter 5, the author presented about on-orbit photoelectron current measurements. These include the three experiments at AMO spectrum and one taken under Albedo condition, after the launched of HORYU IV satellite. On the June 20 and July 8, 2016 data at AMO, the output current data for Gold and Kapton® samples were saturated. For the data on June 25, 2017, The output current data for the entire samples had a common maximum value at time 113s. The albedo condition on September 13, 2016, was to confirm for PEC system performance in space, under low light intensity. These data, sun sensor signal to PEC mission and sensor signal output waveform on -z panel of the satellite were analyzed. And the plasma densities and electron temperatures were obtained from international reference ionosphere (IRI) 2012 model site.

Chapter 6 compares the ground-based experimental estimated result and analysis result of on-orbit photoelectron current density from black kapton samples. This was also compared with the previous studies on laboratory data measured from several spacecraft materials in the range between $10 \mu A/m^2$ and $40 \mu A/m^2$. The PEC measured data was valuable within this range of the observation.

This research was concluded in chapter 7.

学位論文審査の結果の要旨

人工衛星の事故原因のうち表面帯電による放電が多くを占めている。この帯電による放電事故を防ぐため、国際標準11221で定められている打ち上げ前の放電試験方法に沿った試験が実施されており、試験実施以前よりも衛星が運用不能になるような事故は減ってきている。地上試験で実施する放電回数は、帯電解析ソフトウェアによって人工衛星の表面電位を計算して求めるため、帯電解析は帯電放電事故を防ぐために非常に重要である。

帯電解析に必要な入力項目には、宇宙プラズマ環境および宇宙機表面で使用される材料の帯電特性があり、材料の種類によって帯電特性は異なる。また帯電特性には、二次電子電流、抵抗値、光電子電流があり、地上での計測値を帯電解析ソフトウェアに入力している。二次電子電流および抵抗値は地上で計測したものが宇宙空間の値と大きく異なることは考えづらいが、光電子電流値の見積もりでは、真空紫

外線の各波長による光電子電流を実験で求め、宇宙空間の太陽光スペクトルと掛け合わせることで計算するため、宇宙空間で放出される光電子電流と地上計測値との誤差が大きくなることが考えられる。さらに実際に宇宙空間で単一材料の光電子電流を計測した例は無く、軌道上での光電子電流の計測が期待されている。

本論文では、宇宙空間で光電子電流を計測するために超小型衛星「鳳龍四号」に搭載できる計測装置を開発し、地球低軌道上で光電子電流の計測を行っている。地球近傍で太陽光による光電子電流は1平方メートルあたり数十マイクロアンペア程度であり、1平方センチメートルのサンプルでは数ナノアンペア程度の微小電流を計測する必要がある。また低地球軌道には最大 10^{12} m^{-3} 程度の密度のプラズマが存在しているため、サンプル表面にプラズマから電流が流れ込むと正しく光電子電流を計測することは難しい。そのためサンプルの上に網電極を配置し、それに電圧を印加することでプラズマからの電流を軽減し低地球軌道でも光電子電流を計測することができることを示している。

第1章では、人工衛星の帯電放電、研究の背景について解説するとともに、研究の目的を明確に述べている。

第2章では、光電子放出の基礎的な原理等が説明されている。

第3章では、光電子電流計測システムについて説明しており、地上での真空タンク内での実験装置および手順、また鳳龍四号への搭載方法やその動作について説明している。

第4章では、地上での光電子電流計測システムの実験結果について説明している。まず光電流計測装置を大気中でナノアンペアの微小電流をサンプルに直接流して増幅回路の較正している。続いて真空タンク内で真空紫外線を計測システムに照射し、低地球軌道を模擬したプラズマを発生させた場合と発生させていない場合の光電子電流を計測している。その結果からプラズマ密度と、プラズマの有無による計測値の差との関係を求めている。その後、鳳龍四号の実験機に搭載して動作確認をしている。

第5章では、鳳龍四号での軌道上実験結果について説明している。搭載した3つのサンプルのうち、金とポリイミドの電流値が地上で予測した値よりも大きく計測上限を超えていたが、ブラックカプトンでは計測することができた。また、太陽光が地球表面に反射してきた光については、3サンプルとも光電子電流が計測できた。

第6章では、軌道上で計測された結果の解析を行っている。計測時にサンプルに入射していた太陽光の角度を太陽光センサーから求め、衛星の位置から軌道上のプラズマ密度をIRI (電離圏プラズマモデル)

から求めて計測データの解析を行った。その結果、軌道上で計測された光電子電流は、地上実験で太陽光スペクトルを用いて計算された値よりも大きな値になることを明らかになった。

第7章では、結論を述べている。

なお、本論文に関し、審査委員並びに公聴会出席者から、様々な質問がなされたが、いずれも適切に回答がなされた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき審査委員会において慎重に審査した結果、全員一致で本論文が博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。